

MANUFACTURE OF FIELD EFFECT TRANSISTOR

Patent Number: JP58147161
Publication date: 1983-09-01
Inventor(s): ARAI KAZUHIRO
Applicant(s): TOKYO SHIBAURA DENKI KK
Requested Patent: JP58147161
Application Number: JP19820028897 19820226
Priority Number(s):
IPC Classification: H01L29/80; H01L21/265
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PURPOSE: To obtain a Schottky field effect transistor (MESFET) having large power gain at a high frequency by removing the surface part having low impurity density obtained by an ion implantation of front stage and then performing an ion implantation of rear stage.

CONSTITUTION: Si ions are implanted as an ion implantation of front stage on a GaAs semi-insulating substrate 30 to form an impurity layer 39. The layer 39 is etched from the surface to the thickness in the vicinity of the top of the impurity density distribution with an etchant containing phosphoric acid (H₃PO₄), hydrogen peroxide water (H₂O₂):water (H₂O), and an ion implantation of rear stage is performed by Si ions. The Si ions are activated by annealing to form an operating layer 31. A patterning is performed by a photoetching method on the layer 31, AuGe is deposited to form a source electrode 32 and a drain electrode 34. Al is deposited to form a gate electrode 33 to form a power MESFET.

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

⑫ 公開特許公報 (A)

昭58-147161

⑪ Int. Cl.¹
H 01 L 29/80
21/265

識別記号

庁内整理番号
7925-5F
6851-5F

⑬ 公開 昭和58年(1983)9月1日

発明の数 1
審査請求 未請求

(全 5 頁)

⑭ 電界効果トランジスタの製造方法

川崎市幸区小向東芝町1 東京芝
浦電気株式会社小向工場内

⑮ 特 願 昭57-28897

⑯ 出 願 人 東京芝浦電気株式会社

⑰ 出 願 昭57(1982)2月26日

川崎市幸区堀川町72番地

⑱ 発 明 者 新井一弘

⑲ 代 理 人 弁理士 井上一男

明 細 書

1. 発明の名称

電界効果トランジスタの製造方法

2. 特許請求の範囲

(1) 半絶縁性基板上にイオン注入を施して動作層を形成するにあたり、前段イオン注入を施して不純物層を形成した後、この不純物層の表面から不純物濃度分布の頂点近傍に到る間の不純物層を除去した後、残置されている不純物層表面から少なくとも一回の後段イオン注入を施すことを特徴とする電界効果トランジスタの製造方法。

(2) 前段イオン注入を施して形成された不純物層を、表面から前段イオン注入イオン種の濃度分布頂点までの距離が、前段イオン注入イオン種の濃度分布標準偏差の60%以下となる深さまでこの不純物層を除去することを特徴とする特許請求の範囲第1項に記載の電界効果トランジスタの製造方法。

3. 発明の詳細な説明

〔発明の技術分野〕

この発明は、ショットキ型電界効果トランジスタ特に高周波で電力利得の大きい電力用ショットキ型電界効果トランジスタの製造方法に関する。

〔発明の技術的背景とその問題点〕

化合物半導体を使用した電力用電界効果トランジスタの開発は、プロセス技術の進歩に伴って近年著しく進展し、例えば砒化ガリウム(GaAs)を用いたショットキ電界効果トランジスタ(MESFET)では、周波数8GHzで出力15Wが得られている。また一部すでに実用化もされている。この電力用MESFETで動作層はエピタキシャル成長法によって形成している。この工程について図面を用いて述べる。第1図イでまずGaAs半絶縁性基板10上に動作層11をエピタキシャル成長させる。次に形成された動作層11上に写真食刻法でソース、ドレイン電極のパターニングを行ない、ソース、ドレイン金属として例えば金ゲルマニウム(AuGe)を蒸着する。続いてリフトオフを行ない、最後に熱処理を温度450℃で施して、第1図ロのソース電極12、ドレイン電極14を設ける。次に写真食刻法

によりゲート電極のパターニングを行ない、動作層22をエッチングし第1図ロのリセス造を形成する。次いでゲート金属例えばアルミニウム(Al)を蒸着して第1図ロに示すゲート電極23をおく。第1図ハは電子濃度分布、第1図ニは V_g-gm 曲線である。このようにして得られた電力用MESFETの入出力特性は第1図ホに示すように良好で電力利得が大きい。

しかしながらエピタキシャル成長技術を用いて動作層を形成する場合には以下に記す欠点がある。

まず第一に例えばガリウム(Ga)、三塩化砒素($AsCl_3$)等の材料費が高価である。第二に装置の関係上一回に成長可能な基板枚数が限られるため量産性に欠ける。第三に動作層成長面積が大きくなるにつれて電子濃度分布及び厚さにバラツキを生じ易く均一性が低下する。

このような欠点を克服するためイオン注入法により動作層を形成することが注目され開発されている。この工程について図面を用いて述べる。第2図イでまずGaAs半絶縁性基板20上に、例えば加

速エネルギー140keV、ドーズ量 3×10^{12} ions/cm²のケイ素(Si)イオンを注入した後、850℃の温度でアニールしてSiイオンを活性化させ、動作層22を形成する。次に動作層22上にソース、ドレイン、ゲートの各電極を設けて第2図ロに示すように電力用MESFETを形成する。但しソース24、ドレイン24、ゲート23の各電極の金属及び形成方法は前述のエピタキシャル成長法により形成した電力用MESFETの場合と同じである。第2図ハは動作層の電子濃度分布、第2図ニは V_g-gm 曲線である。この電力用MESFETの入出力特性は第2図ホに示すようにエピタキシャル成長法によつた電力用MESFETの入出力特性に比較して電力利得が小さく出力飽和が早い。

この相違が先に述べたエピタキシャル成長法によるものと比較して幾多の長所があるにもかかわらずイオン注入法による電力用MESFETの実用化を妨げている要因となつている。

〔発明の目的〕

この発明は一回のイオン注入で得られる不純物

濃度分布特有なガウス分布に着目し、同分布に付随する結晶表面での不純物濃度分布の低下部分を除去して、電子濃度のピークが結晶表面で得られるようにし、その後少くとも一回のイオン注入を行なうことによつて高周波で電力利得の大きい電力用MESFETを安定に高歩留りで得させる電界効果トランジスタの製造方法を提供するものである。
〔発明の概要〕

即ちこの発明は、半絶縁性基板上にイオン注入を施して動作層を形成するにあたり、前段イオン注入を施して不純物層を形成した後、この不純物層の表面から不純物濃度分布の頂点近傍に到る間の不純物層を除去した後、残置されている不純物層表面から少なくとも一回の後段イオン注入を施すことを特徴とする電界効果トランジスタの製造方法又は前段イオン注入を施して形成された不純物層を、表面から前段イオン注入イオン種の濃度分布頂点までの距離が、前段イオン注入イオン種の濃度分布標準偏差の80%以下となる深さまでこの不純物層を除去することを特徴とする特許請

求の範囲第1項に記載の電界効果トランジスタの製造方法にある。

このようなこの発明は得られるトランジスタの相互コンダクタンス gm を勘案するとき改良されたものであることが理解されよう。いま電力用MESFETで電力利得の向上を図るには式(1)で示す相互コンダクタンス(gm)を大きくすることが必要であ

(以下余白)

る。

MAG

$$= \left(\frac{f_T}{f} \right)^2 \times \frac{1}{4g_{ds}(R_g + R_i + R_s + \pi f_T L_g) + 4\pi f_T C_{dg}(2R_g + R_i + R_s + 2\pi f_T L_g)} \quad (1)$$

$$\text{ここで } f_T \approx \frac{gm}{2\pi C_{gs}}$$

ただし MAG: 最大有能利得

 f : 動作周波数 g_{ds} : ドレインコンダクタンス R_g : ゲート抵抗 R_i : ソース・ゲート間のチャネル抵抗 R_s : ソース抵抗 L_g : ソースインダクタンス C_{dg} : ドレイン・ゲート間容量 C_{gs} : ゲート・ソース間容量 gm : 相互コンダクタンス f_T : カットオフ周波数

この gm はチャネルの電子濃度分布の状態に大きく関係する。このことは次式(2)から判明する。

$$gm = C_g \left[1 - \sqrt{\frac{8K_s \epsilon_0 (\phi_s - V_g)}{q N_D d^3}} \right] \quad (2)$$

$$\text{ここで } C_g = \frac{Z q \mu_n N_D d}{L}$$

ただし gm : 相互コンダクタンス K_s : 比誘電率 ϵ_0 : 真空中の誘電率 ϕ_s : ビルトイン電圧 q : 電子1個の電荷量 N_D : 電子濃度 d : チャネルの厚さ C_g : チャネルのコンダクタンス Z : チャネルの幅 μ_n : 電子移動度 L : チャネルの長さ V_g : ゲート電圧

このように gm の大小は動作層の電子濃度の状態によつて決まり、電子濃度が高いと gm は大きくなり、逆に低いと gm は小さくなる。

第2図ホに入出力特性を示したイオン注入MBS

PBTが電力利得を小さくし出力飽和を早くしている点についてもエピタキシャル成長によつたMBS PBT⁽²⁾第1図⁽²⁾の V_g - gm 曲線と第2図に係りイオン注入によつた電力用MBS PBT⁽²⁾の第2図⁽²⁾の V_g - gm 曲線とを比較すると明らかにイオン注入によつた後者で $V_g = 0 \sim +1V$ での gm が低い。そして第1図⁽²⁾と第2図⁽²⁾の電子濃度分布を比較すると、イオン注入によつて動作層を形成した場合には表面付近の電子濃度が低くなっている。電力利得が大きく飽和出力の良好な電力用MBS PBT⁽²⁾を得させる適法といえる。

以下に実施例について述べる。第3図イに $GaAs$ 半絶縁性基板⁽³⁾上に移動層⁽⁴⁾を形成するためにはまず前段のイオン注入を加速エネルギー120 keV、ドーズ量 $2.5 \times 10^{11} \text{ ions/cm}^2$ でBiイオン注入して不純物層⁽⁵⁾を形成する。この不純物層の不純物濃度分布を第3図ロの曲線に示す。次に不純物層⁽⁵⁾の表面から不純物濃度分布の頂点付近までの厚さ約0.1 μm を例えばリン酸 (H_3PO_4): 過酸化水素水 (H_2O_2): 水 (H_2O) のエッチング液で第3図ハに示すよう

にエッチングする。ここでエッチング量は前段のイオン注入に係る不純物層⁽⁵⁾の電子濃度分布にバラツキが生じない程度0.2 μm 以下にすることが好ましい。またエッチング量にバラツキを生じにくいドライエッチング例えばイオンエッチング等によつても良い。この場合はエッチングに依るバラツキが生じないため、エッチング量を0.2 μm 以下におさえる必要はない。次に後段のイオン注入を加速エネルギー140 keV、ドーズ量 $3 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ のBiイオンにより施す。この不純物濃度分布を第3図ホに示す。ついで温度850℃でアニーリングを行つてBiイオンを活性化させて第3図ニに示すように動作層⁽⁶⁾を形成する。このようにして得られた動作層⁽⁶⁾の電子濃度分布は第3図ヘに示すように表面付近の電子濃度の低下が見られない。次に動作層⁽⁶⁾上に写真食刻法によりソース、ドレイン電極のパターニングを行ない $As_{2}Ge$ を蒸着する。続いてリフトオフを行ない温度450℃で合金化してソース電極⁽⁷⁾、ドレイン電極⁽⁸⁾を形成する。次に同様に写真食刻法によりゲート電極のパター

ニングを行ない、 Al を蒸着して最後にリフトオフを行なつて第3図トに示すようにゲート電極33を形成し、電力用MESFETとする。このようにして得られた電力用MESFETの V_g - g_m 曲線は、第3図チに示すように $V_g=0\sim+1V$ 付近の g_m の低下は見られず、入出力特性も第3図リに示すように電力利得が大きく飽和出力が良好である。

エッチングの量とイオン注入条件等を変えて種種の研究試作を行なつた結果、第4図に示すように前段イオン注入イオン種の濃度分布の頂点からエッチングで除去された不純物層表面までの距離と、前段イオン注入イオン種の濃度分布標準偏差との比が0%のとき出力33dBmが得られている。またDpiが60%の点では32.8dBm、それ以下では出力の低下が著しい。したがつてDpiは60%以上にしなないことが必要である。

この実施例で注入イオンはSiの他にサルファ(S)、セレン(Se)等を使つても良らしい。或いはこれらの組合わせ例えば前段イオン注入にSiを、後段イオン注入にSを使用してもさし支えない。加速エ

ネルギー及びドーズ量は120keV、 2.5×10^{11} ions/cm²としたがこの値に限定されることはない。後段イオン注入は一回に限られず、例えばゲート或いはドレイン耐圧等の向上を考慮した場合、電子濃度を低くして動作層を厚くするときには所望の厚さが得られるまで何回行つても良い。
〔発明の効果〕

以上述べたようにこの発明によれば、前段のイオン注入で得られた不純物濃度の低い表面部分をエッチングにより除去し、不純物濃度のピークが結晶表面で得られるようにした後、後段イオン注入及びアニールを行なうことによつて、従来例に係る第2図ホとこの発明に係る第3図リの入出力特性を比較するとき明かなように、従来例では入力28dBmで出力29.5dBm、利得1.5dBだったのに対し、この発明によれば同じ入力28dBmで出力33dBm、利得5dBを得させ、大幅に改善できる。このようにイオン注入法によりながら、高周波で電力利得を大にし、飽和出力を良好にする電力用MESFETを、高歩留り、低価格で再現性良く製造する方法

を提供できるのである。

4. 図面の簡単な説明

第1図イ、ロと第2図イ、ロと第3図イ、ニ、トは各電力用MESFETの製造工程で得られる半成品断面図、第1図へと第2図へと第3図へは各動作層の電子濃度分布を示す線図、第3図ロ、ハ、ホは不純物層の不純物濃度分布を示す図、第1図ニと第2図ニと第3図チは各電力用MESFETの V_g - g_m 曲線図、第1図ホと第2図ホと第3図リは電力用MESFETの入出力特性図、第4図は電力用MESFETの出力のDpi依存性線図である。尚入出力特性図中の W_G は測定に使用したFETの全ゲート幅を示す。

00、01、02... GaAs半絶縁性基板

03、04、05... 動作層

06、07、08... ソース電極

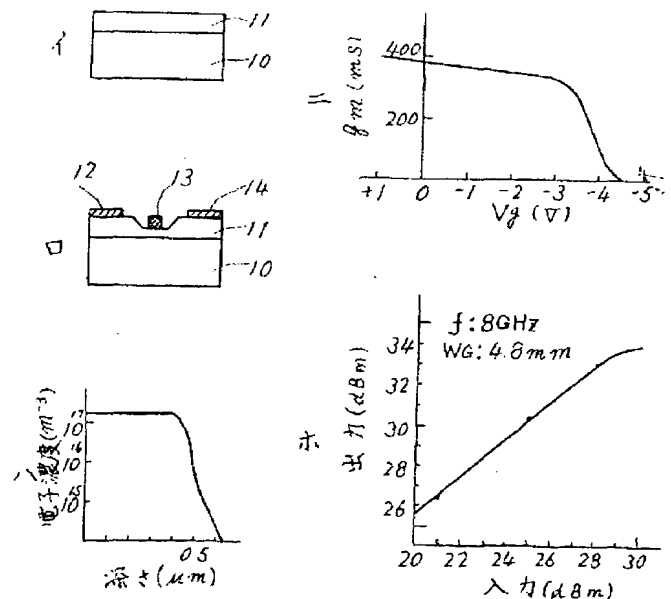
09、10、11... ゲート電極

12、13、14... ドレイン電極

09... 前段イオン注入に係る不純物層

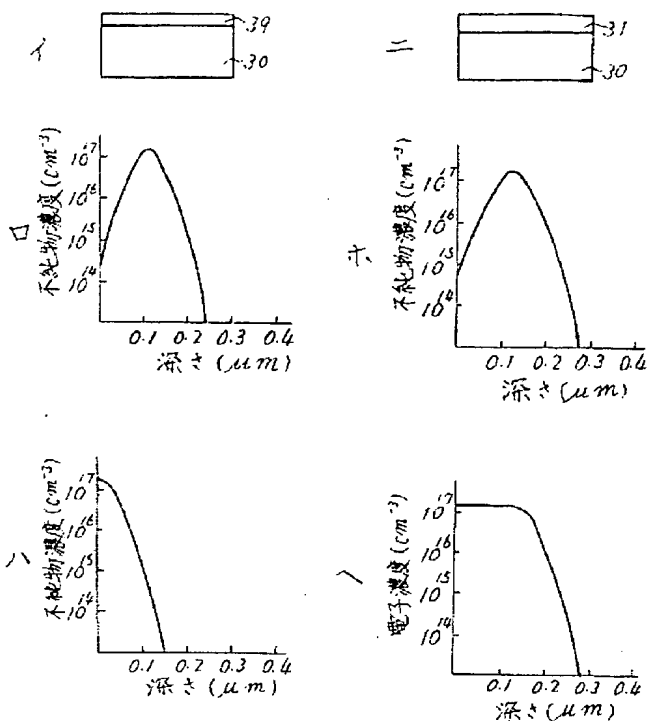
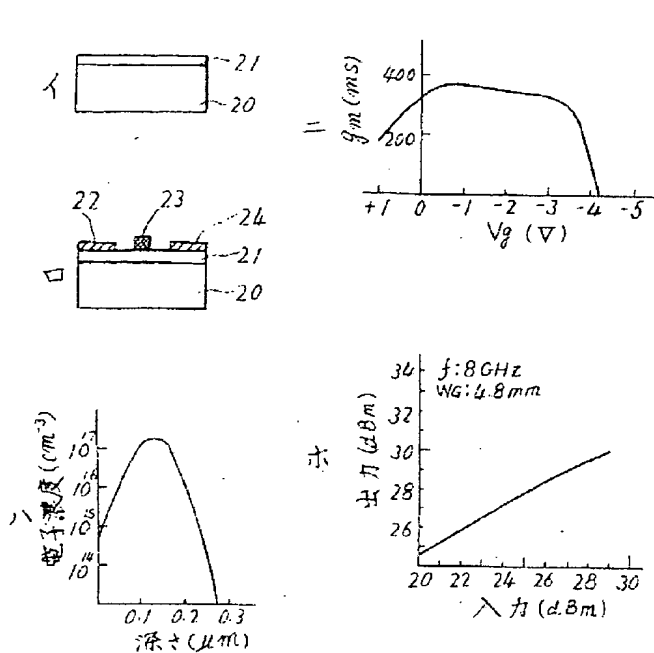
代理人 弁理士 井 上 一 男

第 1 図

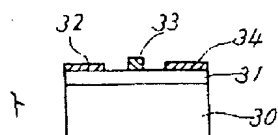


第 3 図

第 2 図



第 3 図



第 4 図

